

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012414531 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1999-220639/199919

XRPX Acc No: N99-163476

**Illumination device for projection exposure system used in semiconductor device manufacturing process - includes adjusting unit arranged near beam synthesizer in order to adjust quantity of light distribution in plane of incidence of beam generating unit**

Patent Assignee: CANON KK (CANO )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 11054426	A	19990226	JP 97221948	A	19970804	199919 B

Priority Applications (No Type Date): JP 97221948 A 19970804

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 11054426	A	21	H01L-021/027	

Abstract (Basic): JP 11054426 A

NOVELTY - An adjusting unit (11) is arranged near the radiation surface of the beam synthesizer (3) in order to adjust the quantity of light distribution in plane of incidence of the multibeam generating unit (5).

USE - For exposure system used in semiconductor device manufacturing process.

ADVANTAGE - By withdrawing the adjusting unit in and out the usual illumination and deformation illumination are easily realized.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows principal view of illumination device. (3) Beam synthesizer; (5) Multibeam generating unit; (11) Adjusting unit.

Dwg.1/37

Title Terms: ILLUMINATE; DEVICE; PROJECT; EXPOSE; SYSTEM; SEMICONDUCTOR; DEVICE; MANUFACTURE; PROCESS; ADJUST; UNIT; ARRANGE; BEAM; ADJUST; QUANTITY; LIGHT; DISTRIBUTE; PLANE; INCIDENCE; BEAM; GENERATE; UNIT

Derwent Class: P84; U11

International Patent Class (Main): H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G03F-007/20

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C04



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-54426

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 0 3 Z

審査請求 未請求 請求項の数14 F D (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平9-221948

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月4日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 橋内 聡

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

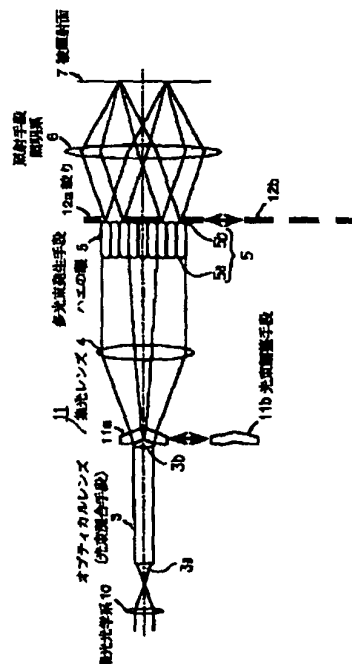
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 照明装置及びそれを用いた投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 通常照明と変形種名の切り替えが簡易でかつ光の利用効率が高く、容易に実現し得る照明装置及びそれを用いた投影露光装置を得ること。

【解決手段】 光源と、該光源からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を混合して射出する光束混合手段と、該光束混合手段からの出射光束を用いて多数の部分光束を発生させる多光束発生手段と、該多光束発生手段からの光束を重ね合わせた状態で被照射面を照射する照射手段と、を有する照明装置において、該光束混合手段の出射面近傍に光束調整手段を設け、該多光束発生手段の入射面での光量分布を調整可能に構成していること。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源と、該光源からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を混合して射出する光束混合手段と、該光束混合手段からの出射光束を用いて多数の部分光束を発生させる多光束発生手段と、該多光束発生手段からの光束を重ね合わせた状態で被照射面を照射する照射手段と、を有する照明装置において、該光束混合手段の出射面近傍に光束調整手段を設け、該多光束発生手段の入射面での光量分布を調整可能に構成していること

【請求項2】 前記光束混合手段と前記多光束発生手段の間には光学系が配置されており、該光学系により該光束混合手段の出射面と、該多光束発生手段の入射面とを略共役になるよう設定していることを特徴とする請求項1、又は2の照明装置。

【請求項3】 前記光束混合手段はオプティカルパイプを有していることを特徴とする請求項1、又は2の照明装置。

【請求項4】 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の円錐面を持つ光学部材からなることを特徴とする請求項1、2、又は3の照明装置。

【請求項5】 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の多角錐面を持つ光学部材からなることを特徴とする請求項1、2、又は3の照明装置。

【請求項6】 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の多角錐面の頂点を光軸に水平な面で切断した平面を有する光学部材からなることを特徴とする請求項1、2、又は3の照明装置。

【請求項7】 前記光束調整手段は、輪帯状の位相分布を有する回折光学素子を2つ有していることを特徴とする請求項1、2、又は3の照明装置。

【請求項8】 前記光束調整手段は一面に回折光学素子を設けた基板を有しており、該回折光学素子は該一面上の多数の領域に面積分割されており、かつ各々の領域の回折光学素子は直線状のパターンから形成されており、また各々の領域の回折光学素子による光束の回折方向が互いに異なっており、前記多光束発生手段上の離散的な位置に他に比べて強い光強度分布を形成していることを特徴とする請求項1、2、又は3の照明装置。

【請求項9】 前記多光束発生手段の入射面上での光量分布が異なるようにした光束調整手段を複数設け、該複数の光束調整手段のうちの1つを光路中に選択可能に設定していることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項記載の照明装置。

【請求項10】 前記多光束発生手段はハエの目を有していることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項記載の照明装置。

【請求項11】 前記多光束発生手段の出射面近傍には前記光束調整手段の種類に応じて開口形状が異なる絞りを交換可能に設けていることを特徴とする請求項1～1

2

0のいずれか1項記載の照明装置。

【請求項12】 請求項1から11のいずれか1項記載の照明装置を用いて被照射面に設けた物体面上のパターンを投影光学系により露光基板に投影露光していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項13】 請求項1から11のいずれか1項記載の照明装置を用いて被照射面に設けた物体面上のパターンを投影光学系により露光基板に、該物体と該露光基板の双方を該投影光学系の光軸と垂直方向に該投影光学系の投影倍率に対応させた速度比で同期させて走査して露光することを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】 請求項12又は13の投影露光装置を用いて物体面上のパターンを投影光学系により露光基板上に投影露光した後、該露光基板を現像処理してデバイスを製造することを特徴とするデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明装置及びそれを用いた投影露光装置及びデバイスの製造方法に関し、具体的には半導体素子等のデバイスの製造装置において、レチクル面上のパターンを適切に照明し、高い解像力が容易に得られるようにした例えばステップアンドリピート方式やステップアンドスキャン方式の投影露光装置に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】一般に半導体素子等のデバイス製造用の露光装置に使用される照明装置には、高解像力化を図るためにマスク面（レチクル面）における照度ムラの除去が強く要求されている。この要求と、集光効率の向上を図った照明装置が、本出願人は例えば特開平1-000913号公報において提案している。

【0003】図34は同公報で提案している照明装置の要部概略図である。

【0004】図中1は光源で、超高圧水銀ランプ等からなっている。2は集光手段で楕円ミラー等からなり、該楕円ミラー2の第1焦点付近に光源1が配置されている。3は光束混合手段で所定形状のオプティカルパイプより成り、該オプティカルパイプ3の入射面3aは楕円ミラー2の第2焦点付近配置されている。4は集光レンズ、5は多光束発生手段であるハエの目であり、集光レンズ4はオプティカルパイプ3の出射端3bとハエの目の入射面5aとが略共役関係となるように設定している。またその際出射端3bを入射面5aに所望の倍率で結像するよう集光レンズ4の光学諸定数を定めている。

【0005】6は照射手段でコンデンサーレンズを含む構成からなり、ハエの目の出射面5bからの光束を用いてマスクやレチクル面等が設定される被照射面7を照射している。

【0006】その際ハエの目5を構成している素子レンズの集光点（後側焦点）を集光手段6の前側焦点に略一

10

20

30

40

50

3

致させ、被照射面7と集光手段6の後側焦点と略一致させるケーラー照明系を構成している。

【0007】光束混合手段3であるオプティカルパイプは内側面による多重反射を利用して、1つの光束から多数の虚または実の集光点を形成するものであり、その原理を図35～37に示す。

【0008】例えばオプティカルパイプを図37に示す様な正方形断面を有する中空で、内面反射をする部材で構成されているとする。

【0009】図35はオプティカルパイプ3の入射面301aの前側に光源像S0を持つ集光光束により虚の集光点が形成される様子を光軸に沿った断面で表したものである。

【0010】光源像S0から入射する光束のうち、上方側面301c、下方側面301dで一度も反射されない光束は、そのまま射出面301bから出射していく。

【0011】上方側面301cでのみ1回反射される光束は、上方側面301cに関して集光点S0と共役な虚の集光点S1から供給されるように出射し、また下方側面301dでのみ1回反射される光束は、下方側面301dに関して集光点S0と共役な虚の集光点S-1から供給されるように出射する。

【0012】以下同様にして、下方側面301dで反射した後、上方側面301cで反射される光束は集光点S0から供給されるように出射し、上方側面301cで反射した後、下方側面301dで反射される光束は集光点S2から供給されるように出射する。

【0013】従ってこのオプティカルパイプに入射する光源像S0を持つ光束は、側面での1回又は複数回の反射によって実質的に多数の光源像から供給されているように出射する。

【0014】この結果、各側面での反射により出射面から見た集光点の様子は、図36のように格子状に分布した多数の集光点からの光束によって出射面301bが照明されるようになり、これら多数の虚集光点の形成される面Sに実質的な面光源が形成されている。

【0015】よってオプティカルパイプ3の出射端301bは略均一な照度分布を得ることができる。

【0016】その均一度合いはオプティカルパイプ3内での光束の反射回数によって定まるが、ここでは詳細な説明は省く。

【0017】ハエの目5は複数の微小レンズのアレイよりなり、その出射面5bは2次光源面を形成している。

【0018】既に説明したように、オプティカルパイプ3の出射面301bとハエの目5の入射面5aは略共役に結ばれており、オプティカルパイプ3の出射面301bで既に略均一な照度分布を形成しているが、それをハエの目5に入射させ、照射手段6でケーラー照明で被照射面7を照射することにより、さらに均一な照度分布を被照射面上で達成している。

4

【0019】ところで最近の半導体素子の集積度の向上に伴ない、投影露光装置の要求される解像力も年々高まりつつある。解像力を向上させるため、光源の短波長化か、位相シフト法の採用、変形照明法の採用等の種々の方法が研究開発されており、特に変形照明法は従来装置に対し大幅な変更を加える必要がなく、かつ従来のマスクパターンの変換が必要ないという利点を有している。

【0020】変形照明法の代表的な例としては、照明光学系の、投影光学系の瞳と略共役な面において光束が通過する際に光束の通過位置が光軸から離間した4箇所に制限される、所謂4重極照明と称させる方法と、前記の照明光学系の面において光束の通過位置が光軸と同心の輪帯状に制限される、所謂輪対照明と称される方法の2つが特に一般的である。

【0021】4重極照明は特に縦横の線から成るパターンについて、解像力の向上及び焦点深度の増大の効果が顕著であるが、斜め方向の線からなるパターンについてはむしろ変形照明をしない通常照明よりも悪化する欠点がある。

【0022】一方輪対照明は、解像力の向上および焦点深度増大の効果は4重極よりも顕著ではないが、パターンの方向に依存しない特徴を有している。

【0023】変形照明法を利用した照明装置として特開平5-251308号公報では、光源手段とインテグレートとの間に平行光を輪帯状光束に変換する輪帯状光束変換手段を設けて、被照射面を均一に傾斜照明している。

【0024】特開平5-283317号公報や特開平6-204114号公報では楕円鏡とオプティカルインテグレートとの間に入射光束を所定方向に偏向させる撚脱可能な光学素子を配置して、オプティカルインテグレートの入射面の光強度分布を変えて、被照射面を照明している。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】本発明は前述した照明装置を改良し、通常照明法と変形照明法の切り替えが容易で、かつ高い照明効率で被照射面を均一に照明することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる照明装置及びそれを用いた投影露光装置、デバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明の照明装置は(1-1)光源と、該光源からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を混合して射出する光束混合手段と、該光束混合手段からの出射光束を用いて多数の部分光束を発生させる多光束発生手段と、該多光束発生手段からの光束を重ね合わせた状態で被照射面を照射する照射手段と、を有する照明装置において、該光束混合手段の出射面近傍に光束調整手段を設け、該多光束発生手段の入射面での光量分布を調整可能に構成していることを特徴としている。

【0027】特に、

(1-1-1) 前記光束混合手段と前記多光束発生手段の間には光学系が配置されており、該光学系により該光束混合手段の出射面と、該多光束発生手段の入射面とを略共役になるよう設定していること。

(1-1-2) 前記光束混合手段はオプティカルパイプを有していること。

(1-1-3) 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の円錐面を持つ光学部材からなること。

(1-1-4) 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の多角錐面を持つ光学部材からなること。

(1-1-5) 前記光束調整手段は、入射面側が凹面の、出射面側が凸面の多角錐面の頂点を光軸に水平な面で切断した平面を有する光学部材からなること。

(1-1-6) 前記光束調整手段は、輪帯状の位相分布を有する回折光学素子を2つ有していること。

(1-1-7) 前記光束調整手段は一面に回折光学素子を設けた基板を有しており、該回折光学素子は該一面上の多数の領域に面積分割されており、かつ各々の領域の回折光学素子は直線状のパターンから形成されており、また各々の領域の回折光学素子による光束の回折方向が互いに異なっており、前記多光束発生手段上の離散的な位置に他に比べて強い光強度分布を形成していること。

(1-1-8) 前記多光束発生手段の入射面上での光量分布が異なるようにした光束調整手段を複数設け、該複数の光束調整手段のうちの1つを光路中に選択可能に設定していること。

(1-1-9) 前記多光束発生手段はハエの目を有していること。

(1-1-10) 前記多光束発生手段の出射面近傍には前記光束調整手段の種類に応じて開口形状が異なる絞りを交換可能に設けていること等を特徴としている。

【0028】本発明の投影露光装置は構成(1-1)の照明装置を用いて、

(2-1) 被照射面に設けた物体面上のパターンを投影光学系により露光基板に投影露光していることを特徴としている。

(2-2) 被照射面に設けた物体面上のパターンを投影光学系により露光基板に該物体と該露光基板の双方を該投影光学系の光軸と垂直方向に該投影光学系の投影倍率に対応させた速度比で同期させて走査して露光することを特徴としている。

【0029】本発明のデバイスの製造方法は構成(2-1)又は(2-2)の投影露光装置を用いて

(3-1) 物体面上のパターン投影光学系により露光基板上に投影露光した後、該露光基板を現像処理してデバイスを製造することを特徴としている。

【0030】

【発明の実施の形態】図1は本発明の照明装置の実施形

態1の一部分の要部概略図、図2は本発明の照明装置を用いた投影露光装置の実施形態1の要部概略図である。

【0031】本実施形態の投影露光装置はステップアンドリビート方式やステップアンドスキャン方式が適用可能である。

【0032】図中、20は光源であり、紫外線や遠紫外線などを放射するエキシマレーザや超高圧小銀灯等から成っている。光源20を出射した光束は光束整形手段21を経て所望の光束形状にした後、インコヒーレント化手段22を経て干渉性の低い光束へ変換して、さらに出射角保存光学素子23により、光源20と投影露光装置の間の振動等による影響を排除した後、集光光学系10に入射している。

【0033】出射角保存光学素子23からの光束は集光光学系10で集光点を作った後、オプティカルパイプ(光束混合手段)3の入射面3aに入射する。オプティカルパイプ3の出射端(出射面)3b近傍には、不図示の駆動機構により着脱交換可能な光束調整手段11(11a、11b)が設けられており、オプティカルパイプ3を出射する光束分布に対して所望の規制を加えている。

【0034】光束調整手段11(11a、11b)は例えば図3(A)、(B)に示すように入射面側に凹の、出射面側に凸の円錐面を有するプリズム部材(光学部材)より成っており光束調整手段11a、11bにおいてはその頂角が異なっており、光束調整手段11aの方が光束調整手段11bに比べて角度が小さい、すなわちより鋭い凸の形状となっている。光束調整手段11aの方が外径の大きな輪帯、光束調整手段11bの方が外径の小さな輪帯の有効光源を後述する多光束発生手段5の入射面5aに形成している。4は集光レンズであり、光束調整手段11からの高遠をハエの目レンズより成る多光束発生手段5の入射面5aに集光している。

【0035】集光レンズ4は光束混合手段3の出射面3bを多光束発生手段5の入射面5aに所定の倍率で結像させ、双方が互いに略共役関係となるようにしている。

【0036】ハエの目5の出射面5b近傍は2次光源となっており、そこには不要光を遮光して所望形状の有効光源が形状に整形されている。12は絞りであり、多光束発生手段5の出射面5b近傍に、駆動機構により着脱交換可能に設けられている。絞り12は複数の絞り(12a、12b)を有している。

【0037】絞り12a、12bは例えば、図4(A)、(B)に示す開口部を有している。図4において斜線部分が遮光部である。

【0038】6は照射手段であり、ハエの目5の出射面5bからの光束のうち、絞り12の開口部を通過した光束を集光して被照射面(レチクル)7をケラー照明している。

【0039】24は投影光学系であり、レチクル(マス

7

ク) 7に描かれたパターンを露光基板(ウエハ) 25に投影している。

【0040】本実施形態の投影露光装置においては、光束調整手段11a、11b等を挿入あるいは他の光束調整手段と交換することで輪帯照明、4重極照明等の変形照明に変更となっている。

【0041】その際必要に応じ絞り12を多光束発生手段5の出射面5b近傍に挿入することにより、不要光を遮光し所望の有効光源形状をより正確に形成するようにしている。

【0042】次に本実施形態の構成のうち前述した構成以外の特徴について説明する。

【0043】光束調整手段11によりハエの目5の入射面5aで形成される照度分布は、光束調整手段11の形状、光束調整手段11と集光レンズ4及びハエの目5の入射面5aの光学的配置、また集光レンズ5の収差等によって異なる。

【0044】光束調整手段11として図3(A)に示す光束調整手段11aを使用した場合には、例えば図5に示すようにハエの目5の入射面5a上に輪帯状の照度分布を形成し、かつそれらの強度が暗部と明部が非常に急激な変化を有する場合がある。

【0045】図5中の斜線部分が光が照射されている部分であり、そのXX'断面での光強度を下に示している。図5に示すように、この場合は所望の有効光源分布に対する不要光がほとんど生じないので、前述の絞り12aは不要となる。

【0046】これに対して照明系によっては図6に示すように輪帯の光強度の断面がガウス分布の様に上部及び下部がダレる場合がある。その場合は図4(A)に示す絞り12aを用いることで不要光を遮光している。

【0047】図7の斜線部は絞り12aを用いたときの遮光されずに有効光源分布の形成に寄与する部分を示している。

【0048】図8は図1において光束調整手段11aを光束調整手段11bに交換した場合の説明図である。

【0049】この場合も前述したと同様に図9に示すように、ハエの目5の入射面5aの輪帯状の照度分布の明部と暗部が非常に急激な変化をする場合がある。この場合は絞り12bは不要である。これに対して、ハエの目5の入射面5aでの強度分布が図10に示すような場合にはやはり絞り12bを用いて不要光を遮光している。図11の斜線部は絞り12bを用いたときの遮光されず有効光源分布の形成に寄与する部分を示している。

【0050】以上は輪帯照明を形成する場合を述べたが、同様に光束調整手段11を切り替えることにより4重極等の変形照明にも対応可能である。

【0051】図3(C)に示す光束調整手段11cは4重極照明を形成するための光束調整手段の外径であり、入射面側に凹の、出射面側に凸の4角錐面形状を有する

8

プリズム部材より成っている。

【0052】これによりハエの目5の入射面5aには例えば図12に示す斜線部分にのみ光束が入射する。この際絞りも図4(C)に示す絞り12cに変更して、図13に斜線を示した部分のみで有効光源を形成し、所望の有効光源を形成している。尚図12の下図及び図13は、図12の上図のAA'断面での強度分布を示している。

【0053】この場合は輪帯照明の説明の中で既に述べたように、ハエの目5の入射面5a側での照度分布は明部と暗部で急激な変化を有する場合であるが、それがガウス分布の様な場合については前述したのと同じなので説明を省く。

【0054】また4重極の離散的な強度分布の光軸からの位置については、輪帯照明のプリズム部材と同様、4角錐の頂角を調整することで、任意の位置に調整可能である。

【0055】図3(D)に示す光束調整手段11dは4重極ほど離散的に強度分布が強い有効光源ではなく、4重極の他の部分にも弱いながらも強度分布を有する有効光源を形成するための光束調整手段の外径の説明図である。

【0056】図3(D)の光束調整手段は図3(C)の光束調整手段11cのプリズム部材の凹と凸の頂点を平にしたものである。これによりハエの目5に入射する光束の強度分布は図14に示した様になる。

【0057】本実施形態では以上説明したように、光束混合手段3と多光束発生手段5を用いた照明装置において、所望の有効光源分布に対応した光束調整手段11を光束混合手段3の直後に挿入するだけで、他の光学部材を特に調整する必要なく、効率の高い変形照明を可能としている。

【0058】また、光束調整手段の挿入により、光束混合手段と集光レンズ間の光路長が変わるが、そのために照明系に不都合が生じる場合は、光束調整手段を用いない通常照明時にも、光束調整手段と略等しい光路長の平行平板を挿入しておき、変形照明時には、それと光束調整手段を交換するように構成してもよい。

【0059】図15は本発明の照明装置の実施形態2の一部分の要部概略図である。

【0060】本実施形態は図1の実施形態1に比べて光束調整手段11(11e、11f)として、所定形状のプリズム部材の代わりに平行平板111aの表裏面に回折光学素子111、112を設けて構成した点が異なっており、その他の構成は同じである。

【0061】図中、図1で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0062】本実施形態は実施形態1と同様、光束混合手段オプティカルパイプ3の出射端3b近傍に着脱交換可能に光束調整手段11e、11fが設けられており、

また同様にハエの目5の出射面5b近傍には着脱交換可能な絞り12e、12fが設けられている。

【0063】光束調整手段11e、11fは図16に示すように平行平板111aの表裏面に各々回折光学素子111、112を設けて構成している。

【0064】図16は光束調整手段11eの光軸Laを含んだ断面での概略図と、その一部の拡大図を示している。光束調整手段11eのブレード形状は図中の拡大図に示したとおりである。すなわち回折光学素子111は垂直に光が入射した場合光軸と反対方向に光を回折させる作用を有している。一方回折光学素子112は垂直に光が入射した場合光軸La側に光を回折させる作用を有している。

【0065】光束調整手段11eが例えば輪帯照明を形成する光束調整手段であるとする、回折光学素子111、112の位相分布は図17に示すように光軸を中心とした同心円状のパターンから構成される回折光学素子となる。

【0066】また光束調整手段11eが4重極照明を形成する光束調整手段であるとする、回折光学素子111、112の位相分布は図18に示すように、直線状のパターンを隣接するパターンと直交する様に配置した回折光学素子となる。

【0067】また光束調整手段11eが図14に示した有効光源分布を形成する光束調整手段であるとする、回折光学素子111、112は図19に示すように、図18の直線状の回折光学格子で構成されたものから、光軸Laを含む中心部分を回折作用を持たないようにした形状の回折光学素子となる。

【0068】本実施形態ではこれらの回折光学素子でハエの目5へ入射する光束の分布を調整することで各種変形照明を効率よく形成している。又実施形態1で述べたようにハエの目5の入射面5a上での強度分布がガウス分布のようなスローブを持っている場合は、ハエの目5出射面5b近傍に絞り12を設け、それを光束調整手段11の変更に合わせて変更させて、所望の形状の有効光源分布を形成している。

【0069】以上説明したように、実施形態2においても光束混合手段3と多光束発生手段5を用いた照明装置において、所望の有効光源分布に対応した光束調整手段11を光束混合手段3の直後に挿入するだけで、他の光学部材を特に調整する必要なく、効率の高い変形照明が可能としている。

【0070】さらに実施形態1の光束調整手段11はプリズム部材で構成されているため、所望された有効光源分布の場合においてはそれに基づいてプリズム部材を加工していた。これに対して本実施形態においては回折光学素子を用いて光束調整手段を構成しているので、回折光学素子としての機能を有するための微細加工が許す範囲であればいかなる光束調整手段も容易に作成可能であ

る。

【0071】その際図16に示した様に、光リソグラフィ技術を使用したバイナリ光学素子として形成することが効率や製造誤差等の点から望ましく、また効率を考えると8レベル以上のバイナリ光学素子とすることが望ましい。

【0072】図20は本発明の照明装置の実施形態3の一部分の要部概略図である。

【0073】本実施形態は図15の実施形態2に比べて、光束調整手段11として平行平板111a(111b)の一面に回折光学素子111(112)を設けた2つの部材111b、112を対向配置して構成している点異なり、その他の構成は同じである。

【0074】図中、図15で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0075】本実施形態は実施形態2と同様、光束混合手段(オプティカルパイプ)3の出射端3b近傍に着脱交換可能な光束調整手段11g、11hが設けられており、また同様にハエの目5の出射面5b近傍には着脱交換可能な絞り12g、12hが設けられている。

【0076】光束調整手段11g、11hは各々、図21に示すように平行平板111a、112aの一面に回折光学素子111、112を設けた部材111b、112bを対向配置して構成している。図21は光束調整手段11gの光軸Laを含んだ断面での概略図と、その一部の拡大図を示している。

【0077】光束調整手段11gは2つの回折光学素子111、112を有している。その構成は平行平板111aの入射面と平行平板112aの出射面にブレードされた回折格子素子より成っている。

【0078】その他の作用や構成は実施形態2と同様であるので説明を省く。

【0079】以上説明したように、実施形態3においても光束混合手段3と多光束発生手段5を用いた照明装置において、所望の有効光源分布に対応した光束調整手段11を光束混合手段3の直後に挿入するだけで、他の光学部材を特に調整する必要なく、効率の高い変形照明が可能としている。

【0080】また実施形態2と同様に回折光学素子を用いて光束調整手段を構成しているので、回折光学素子としての機能を有するための微細加工が許す範囲であれば、いかなる光束調整手段も容易に作成可能であり、その際、回折光学素子を光リソグラフィ技術を使用したバイナリ光学素子として形成することが効率や製造誤差等の点から望ましく、また効率を考えると8レベル以上のバイナリ光学素子とすることが望ましい。

【0081】さらに本実施形態では回折光学素子111、112の2つの平行平板111a、112a部材に分離して構成し、その分、部材厚を削減している。

【0082】図22は本発明の照明装置の実施形態4の



要部概略図で、LSIやVLSI等の半導体チップや、CCD、磁気センサ、液晶素子等のデバイスを製造する、ステップ&リブート型やステップ&スキャン型の投影露光装置に用いる照明装置の概略図である。以下実施形態4においては前述した各実施形態と異なっている構成を中心に説明する。

【0083】図22において、201はArFエキシマレーザ（波長約193nm）やKrFエキシマレーザ（波長約248nm）等のレーザ光源、202は入射光が変位してもそれから出射する光束の出射角が変化しない（保存する）出射角度保存光学素子、203は集光光学系、204は光束混合手段、205はズーム光学系、207は多光束発生手段、208は集光光学系、209はデバイスパターンが形成されたマスク（レチクル）等の被照明物体を示す。又、AXは照明装置の光軸を示す。

【0084】11は光束調整手段であり、前述した各実施形態と同様の構成が適用可能となっている。12は絞りであり、前述した各実施形態と同様の構成が適用可能となっている。

【0085】集光光学系208及びズーム光学系205は、基本的に複数のレンズ素子より成り、場合によっては光路を折り曲げるためのミラーを少なくとも一枚有する。又、レンズ素子が一枚の場合もある。特にズーム光学系の複数のレンズ素子の内の複数のレンズ素子は不図示の駆動機構により光軸AXに沿って移動するよう構成してあり、複数のレンズ素子を光軸方向に所定の関係で動かすことにより、結像面の位置を固定しつつ結像倍率を変えるようにしてある。

【0086】光束混合手段204は、例えば、単一の光パイプ又は複数の光パイプを束ねた光パイプ束である。光パイプは、レーザ光源201からのレーザ光に対して透過率の良い硝材（石英や蛍石）を用いた多角柱又は頂点側を切断した多角錐より成るガラス棒や、3枚以上の平面鏡を各々の反射面を対面させて筒状に構成したカレイドスコープ（万華鏡）のような中空の光学素子から成る。この中空の光学素子も外形は多角柱又は頂点側を切断した多角錐となる。光パイプの側面にある反射面（ガラス棒の場合は空気との界面、中空光学素子の場合は内側の反射面）は平坦で高い反射率を有する。光束混合手段204は、その側面の反射面により入射光の少なくとも一部を反射しつつ伝播させて入射光の複数の光線を混ぜ合わせるにより、その光射出面204'に又はその近傍に強度分布が均一な面光源（光）を形成する。以下、光束混合手段204及びこれと同じ機能を有するものを「内面反射型インテグレート」ともいう。

【0087】多光束発生手段207は、複数の微小レンズより成るハエの目レンズや光ファイバー束等からなり、その光入射面207'に入射した入射光の波面を複数の部分に分割してその光射出面207''又はその近傍に複数の点光源から成る面光源（光）を形成している。

複数の点光源からの光は後段の光学系を介して互いに重なり合い所定の平面に強度分布が均一な面光源（光）を形成する。以下、多光束発生手段207及びこれと同じ機能を有するものを「波面分割型インテグレート」ともいう。

【0088】レーザ光源201から射出したレーザ光は不図示のミラーやリレーレンズから成る光束引き回し光学系を経て出射角度保存光学素子202に入射する。出射角度保存光学素子202は図23（A）に示すようにアパーチャ221とレンズ系222から構成されており、入射光束が光軸AXに直交する方向にある範囲内で変位して光束227から光束228の状態に変化しても、出射角度保存光学素子202から射出される光束の出射角度（開き角） $\phi$ が一定である性質を有する。

【0089】又、出射角度保存光学素子202は、図23（B）に示すような複数の、微小レンズ223より成るハエの目レンズにより構成しても良い。この場合は出射角度 $\phi$ は微小レンズの形状に依存する。図23（B）の光学素子202も、入射光束が光軸AXに直交する方向にある範囲内で変位して光束227から光束228の状態に変化しても、出射角度保存光学素子202から射出する光束の出射角度（開き角） $\phi$ が一定である。尚、ハエの目レンズ以外の波面分割型インテグレートが、出射角度保存光学素子202として適用可能である。

【0090】出射角度保存光学素子202から出射角度 $\phi$ で射出された光束（ハエの目レンズの場合は多光束）は、集光光学系203により内面反射型インテグレートの手前に一旦集光され、その後内面反射型インテグレート204内に発散状態で入射する。内面反射型インテグレート204に入射した発散光束は、その内面反射面で多重反射しながら内部を通過して光軸AXに垂直な平面にレーザ光源201の複数の虚像（見掛けの光源像）を形成する。従って内面反射型インテグレート204の光射出面204'では、これら複数の虚像からあたかも射出したかのように見える複数の光束が互いに重ね合わされるので、光射出面204'における照度分布は均一になる。この現象については後で図25を用いて説明する。

【0091】内面反射型インテグレート204に入射する時のレーザ光の発散角（出射角度保存光学素子202と集光光学系203に依存する）と、内面反射型インテグレート204の長さ（径）とを考慮しつつ内面反射型インテグレート204の形状を決定すると、各虚像から出て被照明物体209に入射する個々のレーザ光の光路長差がレーザ光固有のコヒーレンス長以上に設定でき、レーザ光の時間的コヒーレンスを低下させさせることにより被照明物体209上でのスペックルの発生を抑えることができる。さて図22に戻り、内面反射型インテグレート204の光射出面204'に形成された均一な照度分布（光強度分布）を持つ面光源（光）は、

光束調整手段11を介しズーム光学系205により所望の倍率で、波面分割型インテグレート207の光入射面207'上へ拡大結像され、光入射面207'上に均一光源像206が形成されることになる。

【0092】光入射面207'上に均一光源像206が形成されると、光入射面207'の光強度分布がそのまま波面分割型インテグレート207の光射出面207"に転写され、光射出面207"又はその近傍には、個々の強度が互いにはほぼ等しい多数個の点光源より成る、光強度分布が均一な面光源が形成される。

【0093】光射出面207"又はその近傍の多数個の点光源から射出する各光束は、絞り12を介し集光光学系208により、被照明物体209上で互いに重なり合うように物体を照明するので、被照明物体209全体の照度分布は均一となる。

【0094】上記の「所望の倍率」とは被照射物体209へ入射する照射光束の開き角(出射角度) $\alpha$ が露光に最適な値になるように均一光源像206の大きさが設定される倍率であり、被照明物体が微細パターンを有するマスク(レチクル)等の場合には、マスクパターンの種類(最小パターン線幅の大小)に応じてこの「所望の倍率」が変えられる。

【0095】「所望の倍率」を $m$ とする時、内面反射型インテグレート204から射出する光束の開き角(出射角度) $\beta$ に依存するズーム光学系205の光入射側開口数を $NA'$ 、波面分割型インテグレート207に入射する光束の開き角(入射角度) $\theta$ に依存するズーム光学系205の光出射側開口数を $NA''$ とすると、 $NA' = m \cdot NA''$ が成立する。ここで、角度 $\theta$ の大きさは波面分割型インテグレート207の光入射側開口数 $NA$ を越えない範囲で、且つこの開口数 $NA$ にできるだけ近い値であることが、照明光の利用効率の観点から望ましい。

【0096】従って本実施例の照明装置では、角度 $\theta$ の値は、倍率 $m$ の値の変化によらず、常時、波面分割型インテグレート207の入射側開口数に適合した最適角度に設定されるようにしている。

【0097】即ち、マスクの種類などの露光の条件が変わり、ズーム光学系205の最適な倍率 $m$ の値を無視できない程度に変える時には、内面反射型インテグレート204からの射出する光束の開き角 $\beta$ の値も変えることにより、照明光の利用効率が低下しないようにする。

尚、ある条件の露光に最適な倍率 $m$ が決まると、(1)式に基いて、内面反射型インテグレート204から射出する光束の開き角 $\beta$ (射出角度 $\beta$ )の最適角度が適宜決める。

【0098】本実施例の照明装置は、角度 $\beta$ の値が内面反射型インテグレート204へ入射する光束の入射角度 $\phi$ に等しく且つ入射角度 $\phi$ が出射角度保存光学素子202からの光束の開き角(出射角度) $\epsilon$ に依存していることを利用し、出射角度保存光学素子202を露光条件に

応じて他の出射角度 $\epsilon$ が異なる出射角度保存光学素子に切り換えることにより、角度 $\theta$ の値を一定又はほぼ一定に維持している。

【0099】この出射角度保存光学素子202の切り換えについて図24(A)及び(B)を用いて説明する。

【0100】図24において、202aは出射角度 $\epsilon (= \epsilon a)$ が小さい出射角度保存光学素子であり、202bは出射角度 $\epsilon (= \epsilon b)$ が大きい出射角度保存光学素子であり、その他の符番については図22で説明した符番と同じ部材を指す。

【0101】一般に半導体チップ製造用投影露光装置の照明装置においては、被照明物体209であるマスク(レチクル)のパターン形成面に入射する光束の開き角(入射角度) $\alpha$ を最適角度に設定し且つ入射光束の利用効率(光量)も高く維持することが要求されるので、本実施例の照明装置では、ズーム光学系と複数の出射角度保存光学素子202を用意し、マスクの種類の変更等必要に応じて、ズームと光学素子の切り替えを行なうことにより達成している。

【0102】図24(A)はマスク209に入射する光束の入射角度 $\alpha$ が比較的小さい場合(この状態を「小 $\sigma$ (シグマ)」の状態と言う。)を示し、マスク209の回路パターンの最小線幅が比較的大き場合(サブミクロンの範囲ではあるが)に対応する。尚、 $\sigma$ (シグマ)は照明光学系の光出射側開口数 $Ni$ と投影光学系の光入射側開口数 $Np$ の比( $Ni/Np$ )を意味する。

【0103】この小 $\sigma$ の状態を設定するためには、波面分割型インテグレート207の光入射面207'上に内面反射型インテグレート204の光射出面204'(そこ又はその近傍にある面光源)を小さい倍率で結像する必要がある。これはズーム光学系205の倍率を小さくすることにより達成されるが、前述したように入射角度 $\theta$ は波面分割型インテグレート204の構成に依存した最適角度に維持される必要がある。そこで、この小 $\sigma$ の状態に変える時には、入射角度 $\alpha$ の値に対応する倍率になるようにズーム光学系の倍率を変えると共に、入射角度 $\theta$ の値が最適値に維持されるように、出射角度が $\epsilon b (> \epsilon a)$ である出射角度保存光学素子202bを出射角度が $\epsilon a$ である出射角度保存光学素子202aに切換える。

【0104】図24(B)はマスク209に入射する光束の入射角度 $\alpha$ が比較的大きい場合(この状態を「大 $\sigma$ (シグマ)」の状態と言う。)を示し、マスク209の回路パターンの最小線幅が比較的小さい場合(サブミクロンの範囲ではあるが)に対応する。この大 $\sigma$ の状態を設定するためには、波面分割型インテグレート207の光入射面207'に内面反射型インテグレート204の光射出面204'(そこ又はその近傍にある面光源)を大きい倍率で結像する必要がある。これはズーム光学系205の倍率を大きく大きくすることにより達成される

15

が、前述したように入射角度 $\theta$ は波面分割型インテグレート4の構成に依存した最適角度に維持される必要がある。そこで、この大 $\theta$ 値の状態に変える時には、入射角度 $\alpha$ の値に対応する倍率になるようにズーム光学系の倍率を変えると共に、入射角度 $\theta$ の値が最適値に維持されるように、出射角度が $e a$  ( $< e b$ )である出射角度保存光学素子202aを出射角度が $e b$ である出射角度保存光学素子202bに切替える。

【0105】ここでは、ズーム光学系の結像倍率と出射角度保存光学素子とを2段階で切替える説明を行なったが、ズーム光学系の結像倍率と出射角度保存光学素子とを3段階以上で切替えるように構成することもできる。上記実施例のズーム光学系は所定の範囲で連続的に倍率を変えられるから3段階以上の倍率変更は容易で、従ってそのまま使用でき、又、出射角度保存光学素子は、互いに焦点距離が異なる3種類以上の出射角度保存光学素子を準備しておけばいい。尚、出射角度保存光学素子を切替えてもそれらによるレーザー光の集光位置（本実施例の場合無限遠にある発光部の実像又は虚像の絶対位置）は略一定に維持される構成とする。

【0106】又、ズーム光学系として互いに結像倍率が異なる複数種の結像光学系を用意しておき、2つのインテグレート204、207の間に選択的に一つの結像光学系を設けるようにしてもいい。一方、出射角度保存光学素子に、光軸方向に動く複数のレンズを有するズーム光学系を用いてもいい。

【0107】次に内面反射型インテグレート204の光射出面204'の照度分布が均一になる理由について図25を用いて説明する。

【0108】図25では、内面反射型インテグレート204は六角柱状のガラス棒であるとす。尚、図25は光軸AXを含む側断面図である。

【0109】不図示の集光光学系203からのレーザー光は焦点P0に一旦集光（結像）し、その後、発散角 $\theta$ を有する発散光束となる。この時、レーザー光がエキシマレーザー光である場合は、一般に大強度であるため、焦点P0近傍では莫大なエネルギー密度となり、内面反射型インテグレート204の光入射面のコーティング（反射防止膜）や硝材そのものを破壊してしまう恐れがある。従って、このような場合は図示の通り焦点P0から少し距離をおいて内面反射型インテグレート204を配置する。

【0110】内面反射型インテグレート204に入射した発散光束は内面反射面で繰り返し反射（所謂全反射）しながら内部を通過した後、入射した際の発散角度2041を保ったまま内面反射型インテグレート204から出射する。この時、内面反射型インテグレート204の内面反射面の各部分において反射された光束は反射後も発散しているため、各部分において反射された光束は、破線により示されているように、後方に虚像P1、P

16

2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9、P10を形成する。図示してはいないが、実際には六角柱のガラス棒の場合には、残りの二組の内面反射面対の作用により上記と同様な虚像群が更に形成されている。

【0111】従って内面反射型インテグレート204の光射出面204'では、これら多数の虚像からあたかも射出したかのように見える多数の光束が互いに重なり合い、照度分布が均一になる。

【0112】図26は図25の内面反射型インテグレート204により生じた虚像（見掛けの光源像）群の配列を、例えば図24（A）の配置において波面分割型インテグレート207を構成する一つの微小レンズの光射出面から見た図を示している。図26において、251は波面分割型インテグレート207の微小レンズを、P1からP10は図25の虚像を示している。図26から分かる通り、内面反射型インテグレート204が六角柱の光パイプの場合には虚像群は蜂の巣状に配列するが、内面反射型インテグレート204が四角柱の光パイプである場合は虚像群は矩形の格子状に配列する。尚、この虚像は、集光光学系203と内面反射型インテグレート204の間に形成されたレーザー光の集光点（点光源）の像である。

【0113】本実施例の照明装置は、図24（A）に示した通り出射角度保存光学素子202a、202bが $m \times n$ 個の微小レンズより成るハエの目レンズ（ $m \geq 2$ 、 $n \geq 2$ ）であるから、虚像群の一つ一つの虚像は $m \times n$ 程度に分割された複数像で構成される。従ってこの分割複数像が蜂の巣状に並んだ虚像が見え、これらが波面分割型インテグレート207の微小レンズ一つに対応することになる。

【0114】従って、本実施例の照明装置は、波面分割型インテグレート207の光射出面207'又はその近傍に形成された複数の点光源（有効光源）からの各光束を集光光学系208により被照明物体209上に重畳して照明する際の点光源（有効光源）の数を非常に多くしており、被照明物体209全体がより均一な照度分布となるように物体209を照明することを可能にしている。

【0115】また、図23（B）で説明したように、レーザー光源201からの光束が外乱により微小変位したとしても、出射角度保存光学素子202a、202bからの光束の出射度 $e$ は一定に維持されるので、図26における分割複数像の各々が微小変動するだけであって、蜂の巣状を成す虚像群には変動がなく、出射角度保存光学素子202a、202b波面分割型インテグレート207の各微小レンズ251の中の虚像全体をマクロに見たときの変動は殆どなく、従って被照明物体209上の照度分布への影響も無視できる程度に小さくなる。

【0116】従って本実施例の照明装置は、レーザー光源201からのレーザー光が変位しても非常に性能が安定

10

20

30

40

50

している系である。尚、光束調整手段11及び絞り12の光学的作用は前述の各実施形態と同様である。

【0117】図27に上記実施例の照明装置をLSIやVLSI等の半導体チップや、CCD、磁気センサ、液晶素子等のデバイスを製造するステップ&リビート型又はステップ&スキャン型投影露光装置に適用した実施形態2を示す。

【0118】図27において、291はArFエキシマレーザやKrFエキシマレーザ等のレーザ光源201からの平行光束を所望のビーム形状に整形するための光束整形光学系、292はコヒーレントなレーザ光束をインコヒーレント化するためのインコヒーレント化光学系、293はマスク209の回路パターン等の等倍像又は縮小像を投影する投影光学系、294は基板（シリコンやガラス）に感光材を塗布したウエハを示す。又、ここでは図22に示した部材と同じ部材には図22と同じ符番を付し、説明は省略する。

【0119】レーザ光源201からのレーザ光は、投影光学系293が色収差補正されていない場合にはスペクトル線の半値幅が1 $\mu$ m-3 $\mu$ m程度に狭帯域化されており、投影光学系293が色収差補正されている場合には、スペクトル線の半値幅が10 $\mu$ m以上のある値に狭帯域化されている。又、投影光学系293が色収差補正されている場合に狭帯域化されていないレーザ光を用いる場合もある。

【0120】投影光学系293としては複数のレンズ素子のみで構成した光学系や複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とで構成した光学系や複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォーム等の回折光学素子とで構成した光学系が使用できる。色収差の補正は、互いに分散値（アッベ数）の異なる硝材より成る複数のレンズ素子を用いたり、上記回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。

【0121】レーザ光源201から射出したレーザ光は不図示のミラーやリレーレンズから成る光束引き回し光学系を経て光束整形光学系291に入射する。この光束整形光学系291は、複数のシリンドリカルレンズやビームエキスパンダ等より構成されており、レーザ光の（光軸AXと垂直な）断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する。

【0122】光束整形光学系291により断面形状が整形された光束は、ウエハ294上で光が干渉してスペックルを生じることを防ぐ目的でインコヒーレント化光学系292に入射し、光学系292によりスペックルが生じにくいインコヒーレントな光束に変換される。

【0123】インコヒーレント化光学系292としては、例えば特開平3-215930号公報の図1に開示されているような、入射光束を光分割面で少なくとも2つの光束（例えばr偏光とs偏光）に分岐した後で一方の光束を光学部材を介して他方の光束に対してレーザ光のコヒ

ーレンス長以上の光路長差を与えてから該分割面に再導光して他方の光束と重ね合わせて射出されるようにした折り返し系を少なくとも一つ備える光学系を用いることができる。

【0124】インコヒーレント化光学系292からのインコヒーレント化された光束は、出射角度保存光学素子202に入射する。以下図22乃至図26を用いて述べた手順により、波面分割型インテグレート207の各微小領域（微小レンズ）から出射した光束が集光光学系208によりマスク209を重畳して照明し、マスク209の投影すべき回路パターン全面で均一な照度分布が得られるようにマスク209を均一照明する。そしてマスク209上に形成された回路パターンが投影光学系293によりウエハ294上に投影結像され、ウエハ204の感光材料への回路パターン（像）の露光が行なわれる。尚、ウエハ294は不図示のXYZ可動ステージに真空吸着法等により固定されており、XYZ可動ステージは紙面の上下左右前後に平行移動する機能を持ち、その移動は不図示のレーザ干渉計等の測長器で制御される。このような技術は周知技術であるので、詳しい説明は省略する。

【0125】図27においては、波面分割型インテグレート207の光出射側光路中に照明用の開口絞り12が配置されており、絞り12は互いに異なる $\sigma$ 値に対応する複数の開口絞りを円盤（ターレット）等に設けており、ズーム光学系のズーミングと出射角度保存光学素子の切換えに連動させて円盤を回転させることにより、 $\sigma$ 値に合わせて所望の開口絞りを波面分割型インテグレート207の光出射側光路中に挿入するように構成している。

【0126】複数の開口絞りの開口形状としては、通常の円形開口や円環（リング）状開口や特開平4-329623号公報（鈴木）に記載された光軸外の4つの開口等が使える。

【0127】図28及び図29を用いて本発明の照明装置の実施形態5を説明する。

【0128】図28及び図29は、LSIやVLSI等の半導体チップや、CCD、磁気センサ、液晶素子等のデバイスを製造するステップ&スキャン（走査）型の投影露光装置に好適な照明装置の概略図である。図28、図29において前述した各実施形態と異なる部分のみを説明する。

【0129】図28（A）と（B）は本実施例の照明装置が前述の小 $\sigma$ の状態にある場合を示しており、（A）は照明装置をスキャン方向（以下、「z方向」と記す。）から見た図で、（B）は照明装置をスキャン方向と直交する方向（以下、「y方向」と記す。）から見た図である。又、図29（A）と（B）は本実施例の照明装置が前述の大 $\sigma$ の状態にある場合を示しており、（A）は照明装置をz方向から見た図で、（B）は照明

19

装置をy方向から見た図である。

【0130】尚、以下、図29(A)、(B)において光軸AXと光軸ACからy方向に延びる軸を含む断面をxy断面、光軸AXからz方向に延びる軸を含む断面をxz断面と記す。図28及び図29において、220a、220bはXY断面とXZ断面とで出射光束の開き角(出射角度)が異なる出射角度保存光学素子、240は内面反射型インテグレート、240'は内面反射型インテグレートの光出射面、270は波面分割型インテグレート、270'、270''は波面分割型インテグレートの光入射面、光出射面、300yはマスク上の照明域(光)のy方向の長さ、300zはマスク上の照明域(光)のz方向の長さを示す。又、図中の図22乃至図27で示した部材と同じ部材には図24と同一の符番を付している。

【0131】図28及び図29で示す本実施例の照明装置の基本的な構成と機能は、その変形例も含めて図22乃至図27で示した前記実施例の照明装置と同じであり、本実施例の照明装置の前記実施例の照明装置との相違点は出射角度保存光学素子と内面反射型インテグレートと波面分割型インテグレートの構成と機能にある。従って、ここでは前記実施例との相違点のみ説明することにする。

【0132】ステップ&スキャン型の投影露光装置では、y方向に延びた(z方向よりもy方向の方が長い)矩形スリット状の照明域をマスク209上に効果的に形成する必要がある。

【0133】そこで本実施例では、出射角度保存光学素子として、光軸AXと光軸ACからy方向に延びる軸を含む断面(以下、「xy断面」と記す。)に関する焦点距離と光軸AXと光軸ACからz方向に延びる軸を含む断面(以下、「xz断面」と記す。)に関する焦点距離とが互いに異なるアナモフィック光学系より成る素子220aと220bを用い、内面反射型インテグレートとして、光軸と直交する断面(以下、「yz断面」と記す。)の形状がy方向に延びる一対の直線とz方向に延びる一対の直線とで表わされる四角柱の光パイプより成るインテグレート240を用い、波面分割型インテグレートとして、個々の微小レンズのyz断面の形状がy方向に延びる矩形であるフライアイレンズより成るインテグレート270を用いている。

【0134】出射角度保存光学素子220aと220bは、各々xy断面における焦点距離がxz断面における焦点距離よりも小さく、従って、各断面で見た光束の開き角(出射角度)の関係は、yz断面における出射角度 $\epsilon_{ay}$ 、 $\epsilon_{by}$ の方がxz断面における出射角度 $\epsilon_{az}$ 、 $\epsilon_{bz}$ よりも大きい。従って、図示された光束の開き角(出射角度又は入射角度) $\phi_y$ 、 $\phi_z$ 、 $\beta_y$ 、 $\beta_z$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 、 $\gamma_y$ 、 $\gamma_z$ 、 $\alpha_y$ 、 $\alpha_z$ の関係も、 $\phi_y > \phi_z$ 、 $\beta_y > \beta_z$ 、 $\theta_y > \theta_z$ 、 $\gamma_y > \gamma_z$ 、 $\alpha_y$

20

$> \alpha_z$ である。ここで、 $\gamma_y > \gamma_z$ であるので、マスク9上ではy方向に延びた矩形スリット状の照明域が形成される。

【0135】又、前記実施例と同様に、 $\sigma$ の大小に依存して $\epsilon_{ay} < \epsilon_{by}$ 、 $\epsilon_{az} < \epsilon_{bz}$ の関係があり、角柱状の光パイプの性質に依存して $\phi_y = \beta_y$ 、 $\phi_z = \beta_z$ の関係がある。

【0136】出射角度保存光学素子220aと220bは、xy断面とxz断面とで焦点距離が異なる微小レンズを複数個2次元的にyz断面にそって並べたフライアイレンズや図23(A)の絞り221としてy方向に延びたスリット開口を有するものを用いた素子も適用可能である。尚、各フライアイレンズを構成する微小レンズは、通常のレンズや回折光学素子(フレネルレンズ)によって構成される。

【0137】図30は図28及び図29の内面反射型インテグレート240により生じた虚像(見掛けの光源)群の配列を、波面分割型インテグレート270を構成する一つの微小レンズの光射出面から見た図を示している。図30において、320は波面分割型インテグレート270の微小レンズを、Y1からY12及びZ1からZ8は虚像を示している。

【0138】図30から分かると通り、内面反射型インテグレート240が四角柱の光パイプであるので、虚像群はy方向とz方向に沿って格子状に配列する。又、内面反射型インテグレート240に入射する発散光束の入射角度がxy断面とxz断面とで互いに異なるので、内面反射面での反射回数がxy断面とxz断面とで互いに異なり、そのためy方向とz方向とで虚像の数が異なっている。尚、この虚像は、集光光学系203と内面反射型インテグレート240の間に形成されたレーザー光の集光点(点光源)の像である。

【0139】本実施例の照明装置は、図28及び図29に示した通り出射角度保存光学素子220a、220bが $m \times n$ 個の微小レンズより成るハエの目レンズ( $m \geq 2$ 、 $n \geq 2$ )であるから、虚像群の一つ一つの虚像は $m \times n$ 程度に分割された複数像で構成される。従ってこの分割複数像が格子状に並んだ虚像が見え、これらが波面分割型インテグレート270の微小レンズ一つに対応することになる。

【0140】従って、本実施例の照明装置も、波面分割型インテグレート270の光出射面270'又はその近傍に形成された複数の点光源(有効光源)からの各光束を集光光学系208によりマスク209上に重畳して照明する際の点光源(有効光源)の数を非常に多くしており、マスク209全体がより均一な照度分布となるようにマスク209を照明することを可能にしている。

【0141】以上のような構成を有する本実施例の照明装置も、前記実施例同様に、マスク209の種類等に応じて小 $\sigma$ の状態と大 $\sigma$ の状態を作る際に、ズーム光学系

## 21

205の結像倍率を小さな値と大きな値の間で切換え且つ出射角度保存光学素子220aと出射角度保存光学素子220bを切換えることにより、角度 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の各々の値を一定又はほぼ一定に維持しつつ角度 $\alpha_y$ 、 $\alpha_z$ の各々の値を変えることができ、光の利用効率を低下させることなく $\sigma$ を変更することが可能である。又、レーザー光源からのレーザー光が変位してもマスク209上で照度むらが生じることもない。

【0142】図31に図28乃至図30で示した照明装置をLSIやVLSI等の半導体チップや、CCD、磁気センサ、液晶素子等のデバイスを製造するステップ&スキャン型等の走査型露光装置に適用した実施形態3を示す。

【0143】図31において、291はArFエキシマレーザやKrFエキシマレーザ等のレーザー光源201からの光束を所望のビーム形状に整形するための光束整形光学系、292はコヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するためのインコヒーレント化光学系、293はマスク209の回路パターン等の等倍像又は縮小像を投影する投影光学系、294は基板(シリコンやガラス)に感光材を塗布したウエハを示す。又、ここでは図28乃至図30に示した部材と同じ部材には図28乃至図30と同じ符番を付し、説明は省略する。

【0144】レーザー光源201から射出したレーザー光は不図示のミラーやリレーレンズから成る光束引き回し光学系を経て光束整形光学系291に入射する。この光束整形光学系291は、複数のシリンドリカルレンズやビームエキスパンダ等より構成されており、レーザー光の(光軸AXと垂直な)断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する。

【0145】光束整形光学系291により断面形状が整形された光束は、ウエハ294上で光が干渉してスペックルを生じること防ぐ目的でインコヒーレント化光学系292に入射し、光学系292によりスペックルが生じにくいインコヒーレントな光束に変換される。

【0146】インコヒーレント化光学系292としては、特開平3-215930号公報の図1に開示されているような、前述の光学系を用いることができる。

【0147】インコヒーレント化光学系292からのインコヒーレント化された光束は、出射角度保存光学素子220a又は220bに入射する。以下最初の実施例で図23乃至図26を用いて述べた手順と同様の手順により、波面分割型インテグレート270の各微小領域(微小レンズ)から出射した光束が集光光学系208によりマスク209を重畳して照明し、マスク209の投影すべき回路パターン全面で均一な照度分布が得られるようにマスク209を均一照明する。この時、マスク209上には、y方向に伸びる矩形スリット状の照明域(光)が形成される。そしてマスク209上に形成された回路パターンの内の前記照明域が形成された部分が投影光学

## 22

系293によりウエハ294上に投影結像され、ウエハ294の感光材料への回路パターン(像)の露光が行われる。

【0148】ウエハ294は不図示のx y xの各方向に移動可能なXYZ可動ステージに真空吸着法等により固定されており、マスク209も不図示のx y xの各方向に移動可能なXYZ可動ステージに真空吸着法等により固定されており、各XYZ可動ステージの移動は不図示のレーザー干渉計等の測長器で制御される。そして、マスク209の回路パターン部の端部に矩形スリット状の照明域を形成した状態で各XYZ可動ステージを移動させて、マスク209をz方向にウエハ294を-z方向に走査することにより、マスク209の回路パターン全体をウエハ294上に投影して回路パターン全体をウエハ294上に転写する。尚、投影光学系293の投影倍率がM、マスク209の走査速度がVの時、ウエハ294の走査速度は-M×Vである。

【0149】図32は本発明のデバイス(ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD等)の製造方法のフローチャートである。これについて説明する。

【0150】ステップ1(回路設計)では半導体デバイスの回路設計を行なう。

【0151】ステップ2(マスク製作)では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3(ウエハ製造)ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0152】ステップ4(ウエハプロセス)は前工程と呼ばれ、本発明の露光装置を用い、前記の用意した回路パターン(第1物体)を形成したマスク(レチクル)とウエハ(第2物体)を用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0153】ステップ5(組立)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。

【0154】ステップ6(検査)ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0155】図33は上記のウエハプロセスのフローチャートである。

【0156】ステップ11(酸化)ではウエハの表面を酸化させる。

【0157】ステップ12(CVD)ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0158】ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。

【0159】ステップ14(イオン打込み)ではウエハにイオンを打ち込む。

【0160】ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。

【0161】ステップ16（露光）では本発明の露光装置によってレチクルの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0162】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。

【0163】ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。

【0164】ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。

【0165】これらのステップを繰り返すことによりウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0166】本実施形態の製造方法を用いれば、従来よりも短時間で半導体デバイスを製造することができる。

【0167】

【発明の効果】本発明によれば、以上のように各要素を設定することにより、通常照明法と変形照明法の切り替えが容易で、かつ高い照明効率で被照射面を均一に照明することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる照明装置及びそれを用いた投影露光装置、デバイスの製造方法を達成することができる。

【0168】特に本発明によれば、通常照明と変形照明の切り替えを、光束混合手段の直後に様々な構成の光束調整手段を出し入れすることで容易に実現することができ、また照明光束を高い効率で利用することができる等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の照明装置の実施形態1の要部概略図

【図2】 本発明の照明装置を用いた投影露光装置の実施形態1の要部概略図

【図3】 本発明に係る光束調整手段の概略図

【図4】 本発明に係る絞り調整手段の概略図

【図5】 本発明に係るハエの目の入射面での照度分布の概略図

【図6】 本発明に係るハエの目の入射面での照度分布の概略図

【図7】 本発明に係る絞りで不要光を遮光した場合の有効光源を表す説明図

【図8】 本発明に係る光束調整手段を交換した場合の概略図

【図9】 本発明に係るハエの目の入射面での照度分布の概略図

【図10】 本発明に係るハエの目の入射面での照度分布の概略図

【図11】 本発明に係る絞りで不要光を遮光した場合の有効光源を表す説明図

【図12】 本発明に係る4重極照明の場合のハエの目の入射面での照度分布の概略図

【図13】 本発明に係る絞りで不要光を遮光した場合

の有効光源を表す説明図

【図14】 本発明に係る有効光源分布の説明図

【図15】 本発明の照明装置の実施形態2の一部分の要部概略図

【図16】 本発明に係る光束調整手段の概略図

【図17】 本発明に係る光束調整手段としての回折光学素子の位相分布の説明図

【図18】 本発明に係る光束調整手段としての回折光学素子の位相分布の説明図

【図19】 本発明に係る光束調整手段としての回折光学素子の位相分布の説明図

【図20】 本発明の照明装置の実施形態3の一部分の要部概略図

【図21】 本発明に係る光束調整手段の概略図

【図22】 本発明の照明装置の実施形態4を示す概略図

【図23】 出射角度保存光学素子の2つの例を示す概略図

【図24】 出射角度保存光学素子の切り換えについての説明図

【図25】 内面反射型インテグレータの機能についての説明図

【図26】 図22乃至図25の内面反射型インテグレータ204により形成される虚像群を示す説明図

【図27】 本発明の露光装置の実施形態2を示す概略図で、図22の照明装置を搭載した露光装置

【図28】 本発明の照明装置の実施形態5を示す概略図で、小 $\sigma$ の状態における装置構成図

【図29】 本発明の照明装置の実施形態5を示す概略図で、大 $\sigma$ の状態における装置構成図

【図30】 図28及び図29の内面反射型インテグレータ240により形成される虚像群を示す説明図

【図31】 本発明の露光装置の実施形態3を示す概略図で、図28及び図29が示す照明装置を搭載した露光装置図

【図32】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図33】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図34】 従来の照明装置の要部概略図

【図35】 図24の一部分の説明図

【図36】 図24の一部分の説明図

【図37】 図24の一部分の説明図

【符号の説明】

1 水銀灯（光源）

2 楕円ミラー

3 光束混合手段

4 集光レンズ

5 多光束発生手段

6 照射手段

25

26

7 被照射面 (レチクル)

10 集光光学系

11 光束調整手段

12 絞り

24 投影レンズ

25 感光基板

201 レーザ光源

202 射出角度保存光学素子

203 集光光学系

204 内面反射型インテグレータ

205 ズーム光学系

207 波面分割型インテグレータ

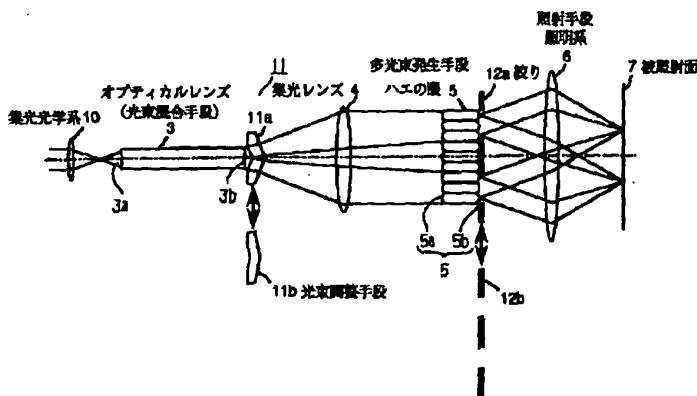
208 集光光学系

209 マスク

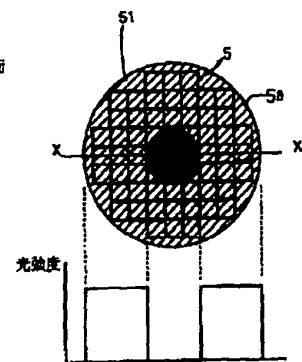
293 投影光学系

294 ウエハ

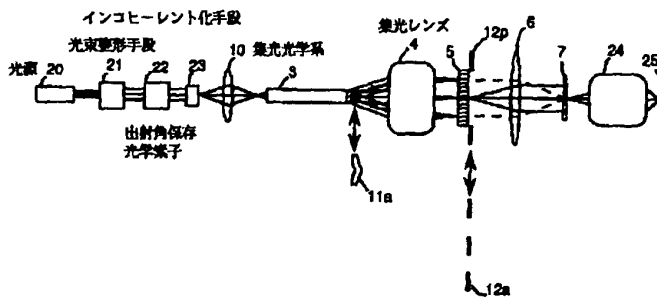
【図1】



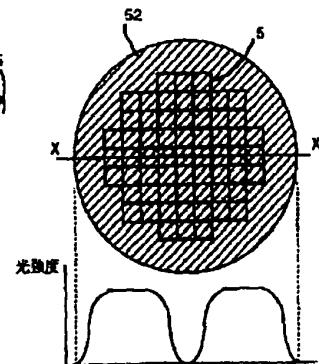
【図5】



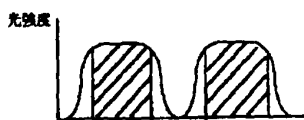
【図2】



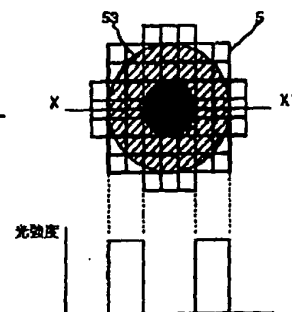
【図6】



【図7】

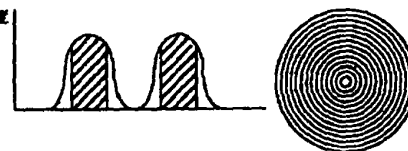


【図9】



【図11】

【図17】

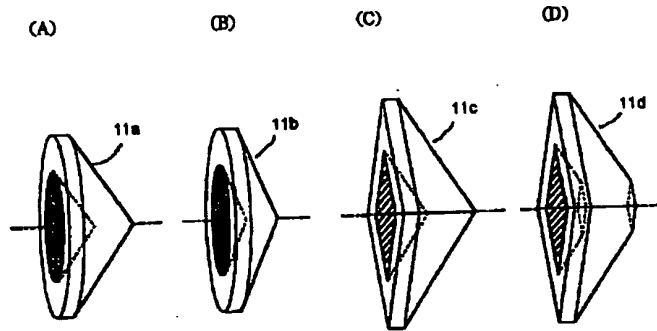


【図14】

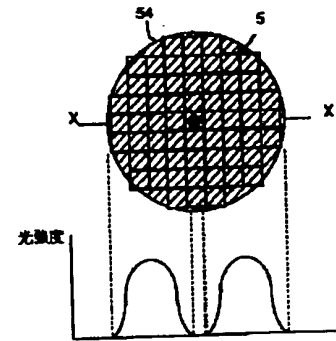




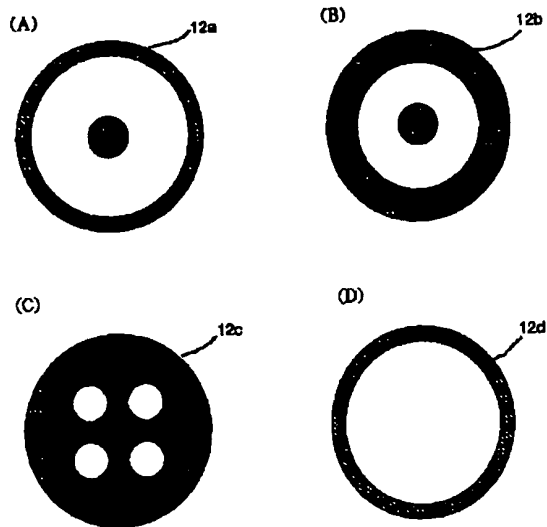
【図3】



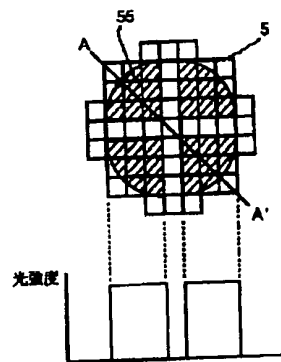
【図10】



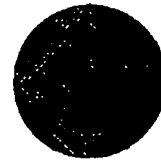
【図4】



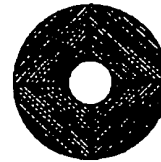
【図12】



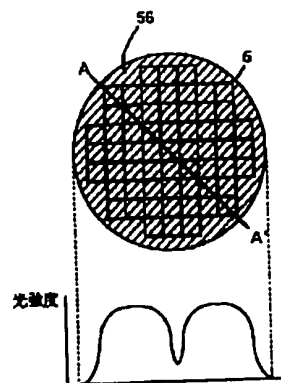
【図18】



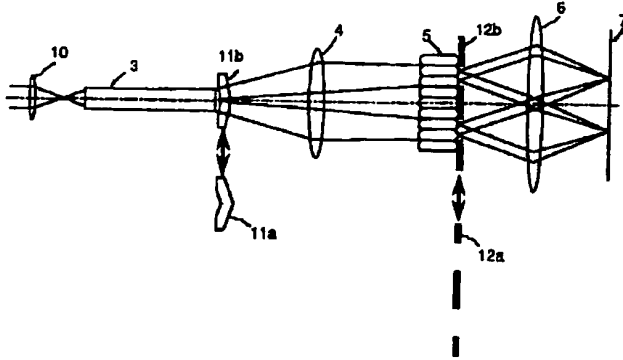
【図19】



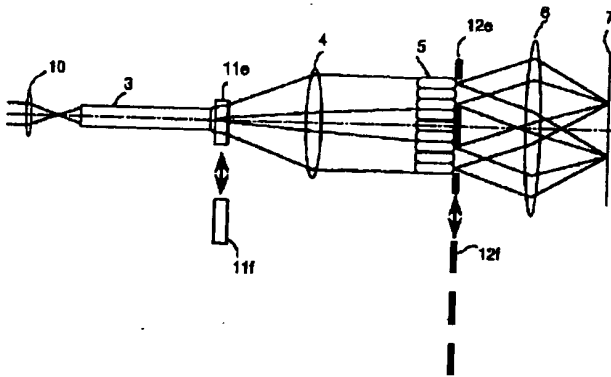
【図13】



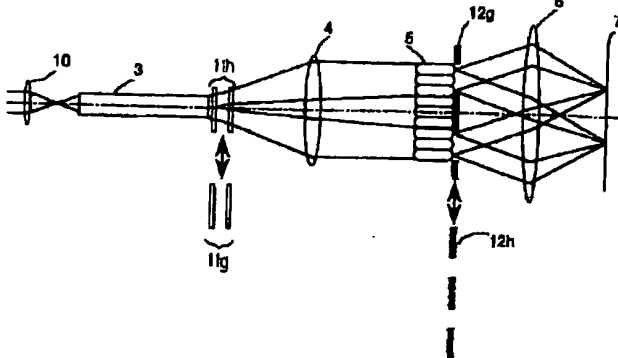
【図8】



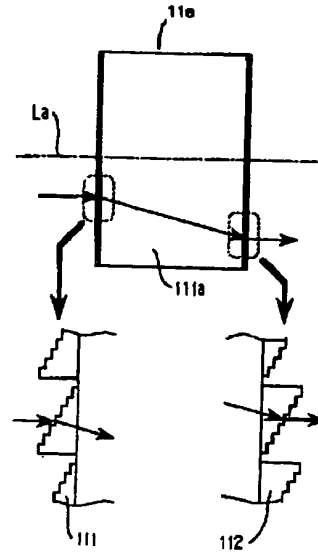
【図15】



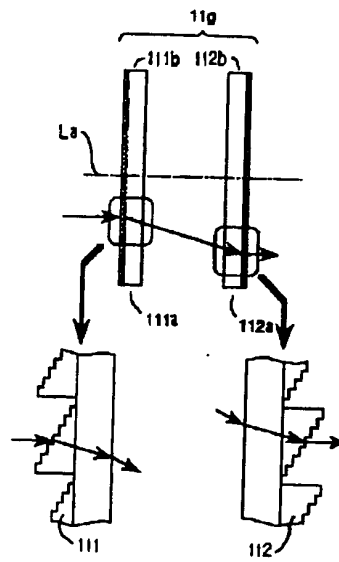
【図20】



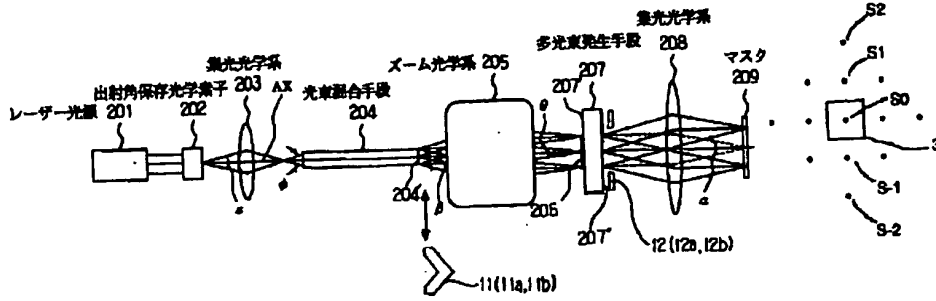
【図16】



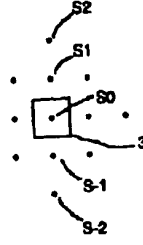
【図21】



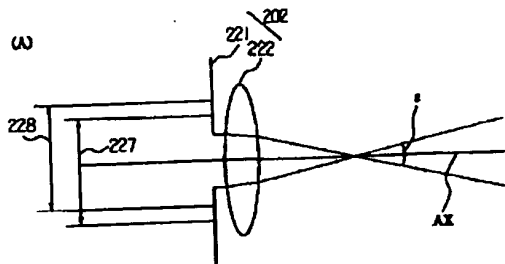
【図22】



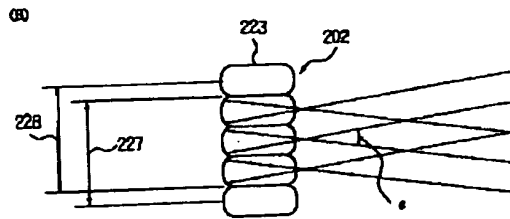
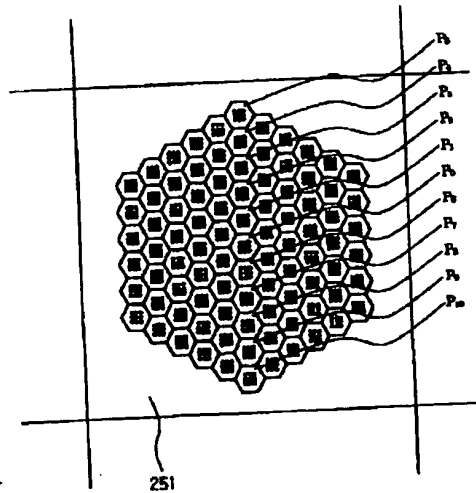
【図36】



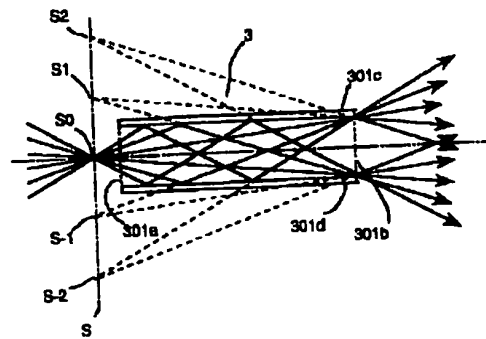
【図23】



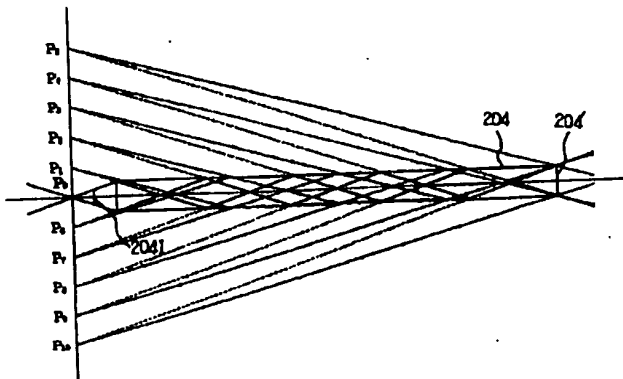
【図26】



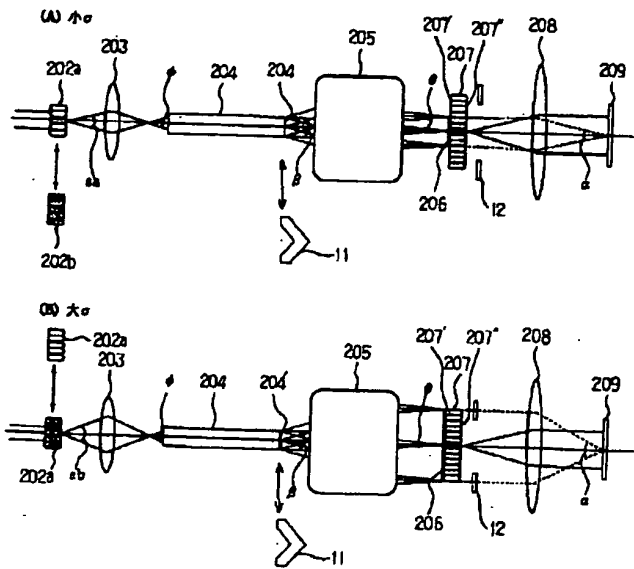
【図35】



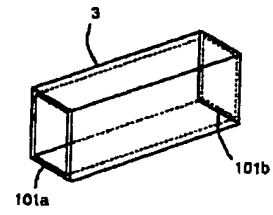
【図25】



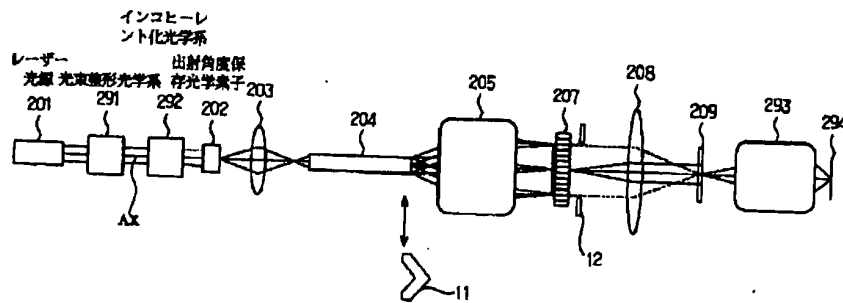
【図24】



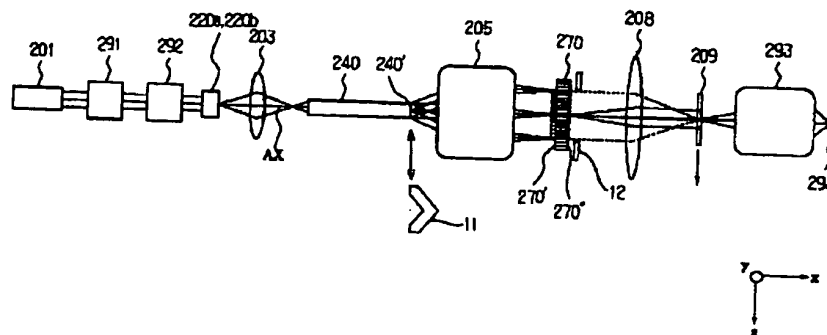
【図37】



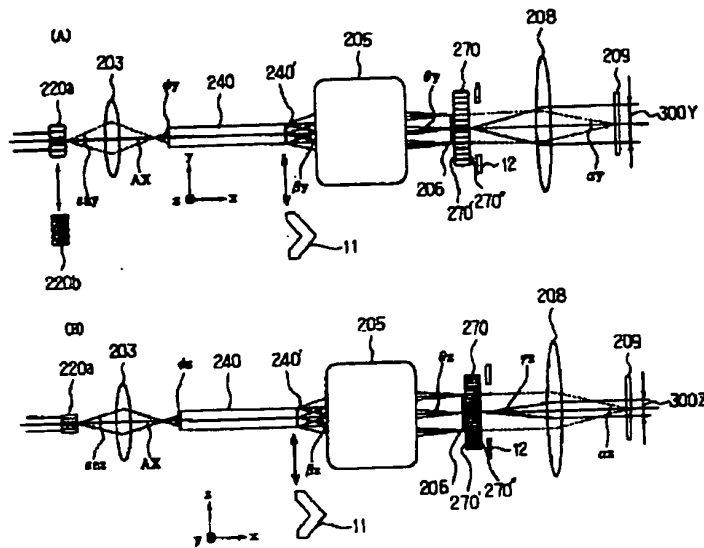
【図27】



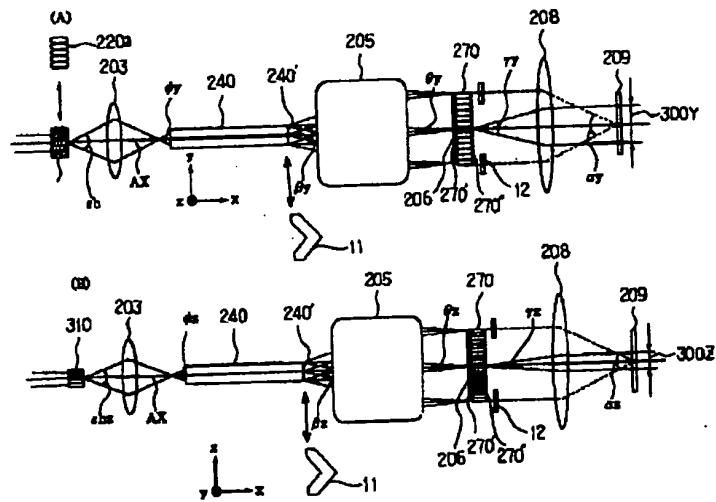
【図31】



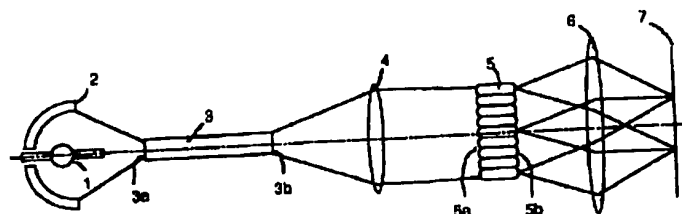
【図28】



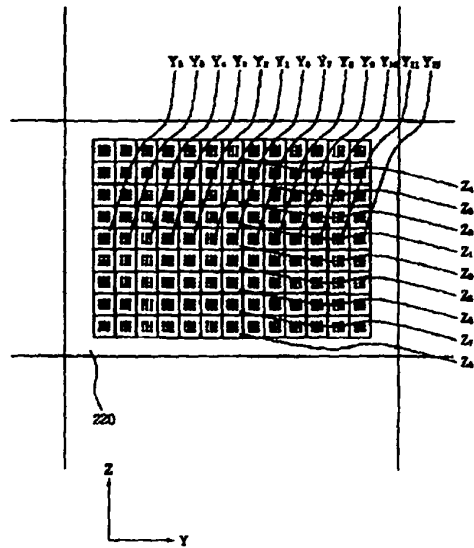
【図29】



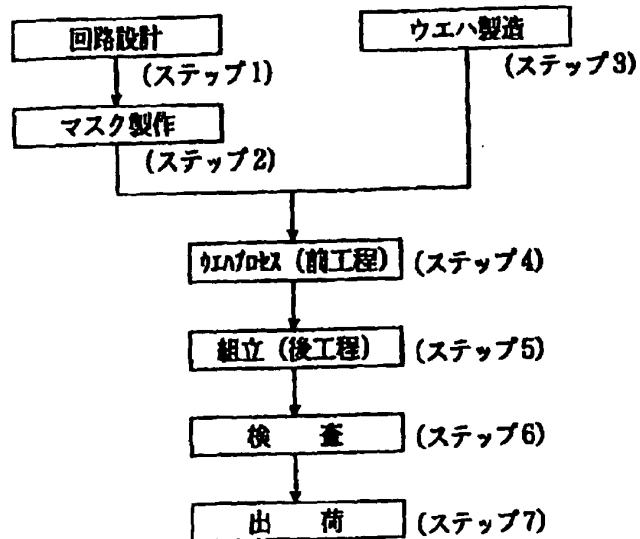
【図34】



【図30】



【図32】



【図33】

